

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

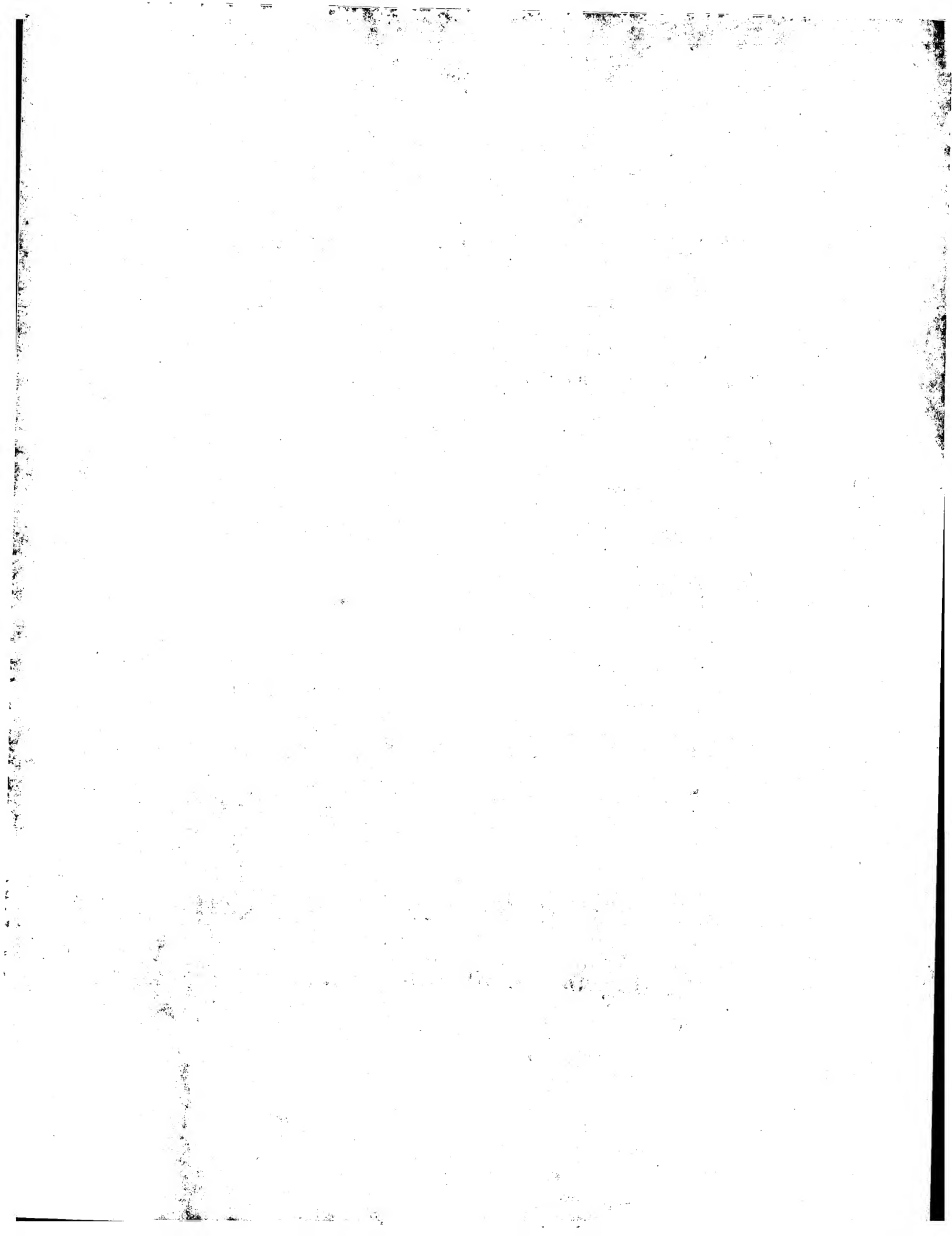
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



Multiphase electrical machine having electrical pole units which are arranged offset and are structurally identical

10626581

Patent Number: DE4302807

Publication date: 1994-08-11

Inventor(s): HILL WOLFGANG (DE)

Applicant(s): HILL WOLFGANG (DE)

Requested Patent: ☐ DE4302807

Application

Number: DE19934302807 19930202

Priority Number(s): DE19934302807 19930202

IPC Classification: H02K1/06 ; H02K3/12 ; H02K41/02 ; H02K15/00

EC Classification: H02K1/22, H02K1/27, H02K3/12, H02K5/20, H02K19/10B, H02K21/24,
H02K41/02

Equivalents:

Abstract

Known multiphase linear motors and disc rotors are either very costly to manufacture or have conductor strands which utilise the slot and winding overhang area only inadequately. For high power densities and force densities, the conductor strands should utilise the area in the slots and winding overhangs completely. The number of different conductor structural forms which can be inserted in a prefabricated manner into slotted soft-magnetic bodies should be minimised in order to achieve cost-effective manufacture. According to the invention, the multiphase conductor construction is split into a plurality of structurally identical, slotted, soft-magnetic bodies which are arranged one behind the other in the direction of the slot depth and in each case offset with respect to one another with respect to the rotor poles by that fraction of one pole pitch which corresponds to the number of phases. All the prefabricated conductor layers of the single-phase electrical pole units have the same structural form and completely utilise both the slot area and the area in the winding overhangs. The drives are distinguished by good heat dissipation and low manufacturing costs.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation 5 :

H02K 19/02, 41/03

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/18741

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

18. August 1994 (18.08.94)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE94/00090

(22) Internationales Anmeldedatum: 31. Januar 1994 (31.01.94)

(30) Prioritätsdaten:

P 43 02 807.1

2. Februar 1993 (02.02.93)

DE

P 43 26 124.8

4. August 1993 (04.08.93)

DE

(71)(72) Anmelder und Erfinder: HILL, Wolfgang [DE/DE]; Ortenbergstrasse 3, D-76135 Karlsruhe (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: CA, CN, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

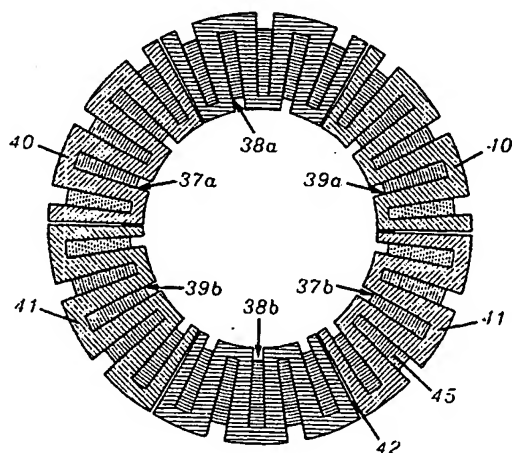
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: MULTIPHASE ELECTRIC MACHINE WITH OFFSET MULTIPOLAR ELECTRIC POLE UNITS

(54) Bezeichnung: MEHRPHASIGE ELEKTRISCHE MASCHINE MIT VERSETZT ANGEORDNETEN, MEHRPOLIGEN ELEKTROPOLEINHEITEN

(57) Abstract

Known multiphase electric machines have conductor wires which do not sufficiently utilize the space available in the grooves and winding head, or which are costly to produce. Besides a good utilization of the available space, the length of the conductors in the winding heads should be kept short in order to obtain high power and energy densities, and the number of different conductor designs should be minimized in order to reduce production costs. According to the invention, the electric machine consists of several electric pole units (37a-b) which have each a small number of phases and poles with alternating polarity in the direction of displacement. The electric pole units are located next to each other in the airgap and are mutually offset by a fraction of a pole pitch with respect to the rotor poles. Their meandering rectangular conductor wires (40) extend in layers parallel to the airgap. In monophasic electric pole units, the conductor insulation is designed for only a fraction of the terminal voltage; by small increments a high effective conductor proportion is achieved. The modular design allows electric machines to be assembled from a few different structural shapes which, because of their simple design, may be produced in a large scale in a totally automated manner.





DEUTSCHES
PATENTAMT

10626581

DE 43 02 807 A 1

- 21 Akt nzeichen: P 43 02 807.1
22 Anmeldetag: 2. 2. 93
43 Off nlegungstag: 11. 8. 94

71 Anmelder:
Hill, Wolfgang, 76135 Karlsruhe, DE

72 Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Mehrphasige elektrische Maschine mit versetzt angeordneten, baugleichen Elektropoleinheiten

57 Bekannte mehrphasige Linearmotoren und Scheibenläufer sind entweder sehr aufwendig in der Herstellung oder weisen Leiterstränge auf, die den Nut- und Wickelkopfraum nur unzureichend ausnutzen. Für hohe Leistungs- und Kraftdichten sollten die Leiterstränge den Raum in den Nuten und Wickelköpfen vollständig ausnutzen. Die Anzahl der unterschiedlichen Leiterbauformen, die vorgefertigt in genutete weichmagnetische Körper einsetzbar sind, sollte für eine kostengünstige Herstellung minimiert werden. Erfindungsgemäß wird der mehrphasige Leiteraufbau auf mehrere baugleiche, genutete weichmagnetische Körper aufgeteilt, die in Richtung der Nuttiefe hintereinander und bezüglich der Rotorpole jeweils um den der Phasenanzahl entsprechenden Bruchteil einer Polteilung versetzt zueinander angeordnet sind. Alle vorgefertigten Leiterschichten der einphasigen Elektropoleinheiten weisen die gleiche Bauform auf und nutzen sowohl den Nutraum als auch den Raum in den Wickelköpfen vollständig aus. Die Antriebe zeichnen sich durch eine gute Wärmeabführung und niedrige Herstellungskosten aus.

DE 43 02 807 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Die Erfindung bezieht sich auf einen Scheibenläufer oder Linearantrieb gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

In einer mehrphasigen Drehfeldwicklung mit versetzt angeordneten Leitersträngen für eine elektrische Maschine müssen sich Leiterstränge unterschiedlicher Phasen gewöhnlich in den Wickelköpfen gegenseitig ausweichen, wodurch sich bei gebogenen Leitern mit konstantem Querschnitt die Leiterlänge erhöht und Hohlräume entstehen, was wiederum zu einer schlechten Ausnutzung des Raumes in den Nuten und den Wickelköpfen führt. Soll für hohe Wirkungsgrade ein vorgegebener niedriger Leiterwiderstand eingehalten werden, so muß die Widerstandserhöhung aufgrund der erhöhten Leiterlänge durch eine Vergrößerung des Leiterquerschnitts kompensiert werden. Hierdurch vergrößert sich das Maschinenvolumen und -gewicht zusätzlich.

Aus der US-PS 4 398 112 ist ein geschichteter Leiteraufbau für Scheibenläufer und Linearmotoren bekannt, bei dem Leiterstränge von der Nutöffnungsebene aus in Richtung der Nuttiefe in die Nuten eingesetzt werden. Hierbei können die Leiterstränge kostengünstig aus einem Blech herausgestanzt werden, da die identischen, ebenen Leiterschichten eine konstante Höhe aufweisen. Dabei ergeben sich zwar für alle Leiterstränge sehr kurze Längen, da jedoch alle Leiterschichten einen unterschiedlichen Abstand von der Nutöffnungsebene aufweisen müssen, wird nur bei einphasigen Maschinen der Raum in den Nuten vollständig und in den Wickelköpfen zu ca. 60% ausgenutzt. Eine einphasige Maschine weist jedoch starke Drehmomentschwankungen auf. Bei einer zweiphasigen Maschine würde mit der aus der US-Patentschrift bekannten Leiteranordnung der Füllfaktor in den Nuten bereits auf 50% und in den Wickelköpfen auf ca. 30% sinken.

Antriebe müssen hohe Beschleunigungs- und Bremsmomente oft nur für kurze Zeiträume erzeugen. Durch eine große Wärmekapazität und eine gute Wärmeableitung können im Kurzzeitbetrieb hohe Ströme durch die Maschine fließen, ohne daß eine Überhitzung und Zerstörung der Isolationsschichten, Lager oder Magnete erfolgt. Da ein großes Oberflächen-Volumen-Verhältnis die Wärmeableitung verbessert und große Luftspaltradien günstig für hohe Drehmomente sind, empfehlen sich ringförmige Maschinen mit geringer Nuttiefe.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine mindestens zweiphasige elektrische Maschine, deren Läufer und Ständer sich in einer ebenen Fläche gegenüberliegen, sowie ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen elektrischen Maschine derart weiter zu bilden, daß bei kurzen Leiterlängen eine vollständige Raumaussnutzung in den Nuten und Wickelköpfen, ein großes Oberflächen-Volumen-Verhältnis und hohe Leistungs- und Kraftdichten bei geringen ohmschen Verlusten erreicht, sowie eine materialsparende, gut automatisierbare und damit kostengünstige Herstellung ermöglicht wird.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß mit den Merkmalen im kennzeichnenden Teil des ersten Anspruchs gelöst. Weiterbildungen und zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Bei Scheibenläufern und Linearmotoren wird eine vollständige Raumaussnutzung bei sehr kurzen Leiterlängen und einer minimalen Anzahl unterschiedlicher Maschinenbauteile erfindungsgemäß auch bei mehr-

phasigen Maschinen erreicht, indem jeder Phase ein eigener weichmagnetischer Körper zugeordnet wird. Die Maschine weist somit eine der Phasenanzahl entsprechende Anzahl einphasiger Ständer auf, die zu den starr aneinandergeschalteten Rotorpolen der Maschine jeweils um einen der Phasenanzahl entsprechenden Bruchteil einer Polteilung versetzt angeordnet sind.

Ein genuteter weichmagnetischer Körper und sein ausschließlich aus Leitern einer Phase bestehender Leiteraufbau bilden somit Einzelpole mit in Richtung der Nutbreite wechselnder Polarität und werden im folgenden Elektropoleinheit genannt. In den Leitern einer Elektropoleinheit fließt nur der Strom einer Phase in einem oder mehreren parallelgeschalteten Leitersträngen. Die Leiterstränge weisen einen rechteckförmigen Querschnitt auf und liegen in Schichten parallel zur Nutöffnungsebene übereinander.

Da jede Phase ihren eigenen weichmagnetischen Körper besitzt, werden auch in mehrphasigen Maschinen die Nuten vollständig ausgenutzt. Für die vollständige Ausnutzung des Wickelkopfraums weisen die in Richtung der Nuttiefe aufeinanderliegenden Leiterschichten einen um eine Polteilung zueinander versetzten Verlauf auf, wobei die Leiterhöhe der im Wickelkopf in Richtung der Nutbreite verlaufenden Teilbereiche verdoppelt wird. Das großflächige Anliegen der Leiterstränge untereinander, am weichmagnetischen Körper und am Gehäuse führt zu einer gleichmäßigen Erwärmung des Leiteraufbaus, verbessert die Wärmeableitung und erhöht zusätzlich die Stabilität der Maschine. Über eine hohe Raumaussnutzung werden niedrige ohmsche Widerstände erreicht, die entweder den Maschinenwirkungsgrad erhöhen oder über verringerte Leiterquerschnitte zu einem niedrigeren Gewicht führen.

Mit steigender Polpaarzahl vermindert sich die Rückschlußdicke und die Wickelkopfbreite, daher wird die Polpaarzahl so hoch gewählt, daß die mittlere Breite einer Polteilung ca. 5 bis 20 mm beträgt. Die Nut- und Zahnbreite sind in Richtung der Nuttiefe konstant und auch das Verhältnis von Nut- zu Zahnbreite bleibt — auch im Scheibenläufer — in Nutrichtung gleich.

Bei einem kleinen Leistung-Spannung-Verhältnis kann die Polpaarzahl, der Leiterquerschnitt und die Anzahl der Leiterschichten so gewählt werden, daß jede Elektropoleinheit in permanenterregten Maschinen nur einen Stromkreis aufweist. Bei hohen Drehzahlen schränkt die einseitige Stromverdrängung in den Nuten die verfügbare Leiterhöhe ein. Wenn daher bei größeren Maschinen pro Elektropoleinheit mehrere parallelgeschaltete Leiterstränge zu realisieren sind, wird der Leiteraufbau in mehrere baugleiche Sektoren aufgeteilt. Hierdurch liegen außer in den Grenznuten weiterhin nur Leiterschichten eines Leiterstranges übereinander und hohe Spannungspotentialsprünge werden in allen Nuten vermieden. Der gesamte Leiteraufbau eines weichmagnetischen Körpers besteht nun aus mehreren baugleichen Sektoren, wobei die Anzahl der in sich verzahnten Sektoren der Anzahl der parallelgeschalteten Leiterstränge pro Phase entspricht. Während sich die Anzahl der Leiterschichten und Verbindungsstellen vervielfacht, vereinfacht sich die Herstellung und Handhabung der Leiterschichten in einem automatisierten Produktionsverfahren überproportional.

Läufer mit hartmagnetischen Segmenten durchfluten jeweils zwei Elektropoleinheiten, während weichmagnetische Segmente jeweils für zwei Elektropoleinheiten den Rotorrückschluß bilden.

Vorteilhaft sind in Maschinen mit gerader Phasenanzahl

zahl jeweils zwei um eine halbe Polteilung versetzte Elektropoleinheiten einer Rotorscheibe zugeordnet und die Rotorscheibenanzahl entspricht der halben Phasenanzahl. Je höher die Phasenanzahl, umso geringer ist die Drehmomentenwelligkeit. In einer speziellen Ausführungsform der Erfindung kann eine dreiphasige Maschine jedoch auch aus drei Rotorscheiben und sechs Elektropoleinheiten aufgebaut werden.

Wenn die Nutöffnungsbreite exakt der Polteilung geteilt durch die Phasenanzahl entspricht, bleibt die Summe der den Läuferpolen gegenüberliegenden Zahnflächen in der Summe aller Luftspalte konstant, weshalb der Rotor einer permanentregten Maschine im stromlosen Zustand keine Vorzugsstellung aufweist.

Unter Nutöffnungsebene wird die Oberfläche des weichmagnetischen Körpers verstanden, die dem zugehörigen Läufer gegenüberliegt. Die Richtung der Nuttiefe stellt die Normale dieser Fläche dar und die Richtung der Nutbreite spannt zusammen mit der Nutrichtung eine Fläche parallel zur Nutöffnungsebene auf. In Scheibenläufern entspricht die Nutöffnungsebene dem Luftspalt, die Richtung der Nuttiefe der Axial-, die Nutrichtung der Radial- und die Richtung der Nutbreite der Tangentialkomponente eines Polarkoordinatensystems.

Die einstückig vorgefertigten Leiterschichten werden außerhalb des weichmagnetischen Körpers in einer automatisch arbeitenden Fertigungsanlage in Richtung der Nuttiefe aufeinandergelegt. Anschließend zum Verschweißen der Enden etwas in Richtung der Nuttiefe elastisch verbogen und abschließend mit einer elektrisch isolierenden Schicht überzogen, die neben einer guten Wärmeleitfähigkeit auch eine Haftwirkung aufweisen kann. Für große Stückzahlen werden die Leiterschichten in einer Preßfußform mit vernachlässigbarem Materialverlust direkt aus der Schmelze in der gewünschten Form hergestellt.

Durch die symmetrische Aufteilung der Maschine in baugleiche Teile und die ungestörte Vorfertigung des Leitersaufbaus vereinfacht sich die Herstellung der gesamten Maschine wesentlich. Aufgrund der wenigen unterschiedlichen Bauteile und geringeren Rohstoffkosten ergeben sich insbesondere bei Reluktanzmaschinen sehr niedrige Herstellungskosten. Mit hochwertigen hartmagnetischen Segmenten in den Rotorscheiben lassen sich jedoch höhere Kraft- und Leistungsdichten bei hohem Wirkungsgrad erreichen, wobei die eingesparten Eisen- und Kupferkosten die hohen Magnetkosten jedoch nur teilweise kompensieren.

Einige bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden im nachstehenden anhand der Zeichnungen erläutert.

Fig. 1 zeigt den Längsschnitt eines vierphasigen Scheibenläufers in Außenläuferbauart mit Flüssigkeitskühlung;

Fig. 2 zeigt sechs Schnitte gemäß den Linien A-A bis F-F aus Fig. 1, wobei die Seitenansichten einer dreißigpoligen Maschine dargestellt sind;

Fig. 3 zeigt drei Tangentialschnitte durch die aktiven Teile von vierphasigen Maschinen;

Fig. 4 stellt einen vier Polteilungen umfassenden Ausschnitt aus dem Verlauf von vier aufeinanderliegenden Leiterschichten dreidimensional dar;

Fig. 5 zeigt drei Montageschritte einer Rotorscheibe aus Fig. 1;

Fig. 6 zeigt die Spannungs-, Strom- und Momentenverläufe einer sechshephasigen Reluktanzmaschine;

Fig. 7 zeigt fünf Bauformen von vierphasigen Linear-
motoren.

Fig. 1 zeigt einen Längsschnitt einer vierphasigen Zweischeibenmaschine mit Flüssigkeitskühlung. Der Scheibenläufer in Außenläuferbauart kann beispielsweise als Trommelantrieb eingesetzt werden. Der innere Trägerkörper 1 besteht aus zwei baugleichen Hälften, die als Gußteile vorgefertigt werden. Nachdem er an seinen Stoßflächen verschweißt wurde, besteht im inneren ein Hohlraum, der von einem Kühlmittel 2 durchflossen wird, das bei Überhitzungsgefahr von den seitlichen Öffnungen aus durch das Maschineninnere gepumpt wird. Auf den inneren Trägerkörper 1 werden die beiden vorgefertigten inneren Elektropoleinheiten 3b, 3c axial aufgepreßt, wobei die Stromzu- und -ableitungen 4 aus den inneren Wickelköpfen radial nach innen ragen und in isolierten axialverlaufenden Nuten 5 des inneren Trägerkörpers 1 nach außen geführt sind. Anschließend werden die beiden baugleichen Rotorscheiben 6a, 6b zusammen mit ihren inneren Lagern 7 und den beiden äußeren Elektropoleinheiten 3a, 3b mit ihren Kühlkörpern axial aufgepreßt. Alle Elektropoleinheiten 3 sind baugleich. Die tangentielle Versetzung um jeweils eine viertel Polteilung (45° el) wird durch die Nuten für die Stromzu- und -ableitungen 4 gewährleistet, die entsprechend in den inneren Trägerkörper 1 eingearbeitet sind. Die beiden äußeren Kühlkörper 8 bilden gleichzeitig die Motorschilder. Beim Aufmessen sichern Distanzscheiben (nicht dargestellt) die exakte Einhaltung des Luftspaltes. Nachdem diese radial entfernt wurden, wird der rohrförmige Gehäusemantel 9 axial aufgeschoben. Er weist an der inneren Mantelfläche Nuten für die Zähne 10 der Rotorscheiben auf. Zuvor in Position gebrachte Distanzstäbe 11, die diese Nuten anschließend füllen, gewährleisten die exakte Positionierung der Rotorscheiben 6. Abschließend werden die beiden äußeren Lager 12 axial zwischen den rotierenden Gehäusemantel 9 und die stationären äußeren Kühlkörper 8 gepreßt, womit letztere somit auch tragende Funktionen übernehmen.

Besteht die Maschine aus mehreren Rotorscheiben, begünstigt dies eine aktive Kühlung, wobei zwischen den beiden inneren Elektropoleinheiten 6b, 6c ein Kühlmittel zirkuliert. Durch die Aufteilung der Maschine verlängert der Volumenbedarf des Kühlmittels weder den Weg des magnetischen Flusses noch den des elektrischen Stromes, obwohl über große Kühlflächen und kurze Abstände zu den Wärmequellen eine gute Wärmeableitung gewährleistet ist.

Fig. 2 zeigt sechs Seitenansichten gemäß den Schnitten A-A bis F-F des dreißigpoligen Scheibenläufers aus Fig. 1, wobei die Schraffurmuster beibehalten wurden. Während die beiden baugleichen Rotorscheiben Fig. 2b und 2d deckungsgleich angeordnet sind, wurden die ebenfalls baugleichen vier Elektropoleinheiten um Bruchteile einer Polteilung verdreht. Dabei sind die oberen Elektropoleinheiten Fig. 2a und 2c genau wie die beiden unteren Elektropoleinheiten Fig. 2d und 2f jeweils um eine halbe Polteilung zueinander verdreht. Zwischen den oben und unten dargestellten Elektropoleinheiten beträgt die Verdrehung eine viertel Polteilung, so daß in der axialen Projektion eine gleichmäßige Verteilung der vier Phasen innerhalb der Polteilungen erreicht wird. Neben den durch bogenförmige Schraffurlinien symbolisierten Zähnen des weichmagnetischen Körpers 14 sind die beiden geschnittenen Leiterschichten durch unterschiedliche Schraffurwinkel und Schraffurdichten gekennzeichnet. Von den um eine Polteilung versetzt aufeinanderliegenden Leiterschichten 13a, 13b ist lediglich die Leiterschicht 13a vollständig zu sehen.

Die Leiterschicht 13b ist dagegen nur in den beiden Wickelköpfen 15 sichtbar, wobei sie die Lücken der Leiterschicht 13a zur Verdoppelung ihrer Leiterhöhe ausnutzt. Eine Leiterschicht 13 umfaßt den gesamten Maschinenumfang minus einer Polteilung. An dieser Lücke erfolgt entweder die Stromzu- und -ableitung 8 zur Ansteuerung oder der Übergang zu einer in Richtung der Nuttiefe benachbarten Leiterschicht.

Mit den in Fig. 3 dargestellten drei Tangentialschnitten durch in der Bauform ähnliche vierphasige Maschinen sollen die tangentialen Versetzungen der vier Elektropoleinheiten aus Fig. 1 und insbesondere die Verläufe des magnetischen Flusses bei hart- und weichmagnetischen Segmenten verdeutlicht werden.

Fig. 3a zeigt einen zehn Polteilungen umfassenden Ausschnitt aus dem Tangentialschnitt durch einen vierphasigen Scheibenläufer, wobei analog zu Fig. 1 und 2 die Schraffuren und Bezugszeichen beibehalten und lediglich die Nuttiefe reduziert wurde. Die Nutbreite beträgt exakt ein Viertel der Polteilung, wodurch sich die Reluktanzmomente aller vier Luftspalte kompensieren.

In Fig. 3b wurde auf die Schraffur verzichtet, dafür wird der Feldverlauf einer permanenterregten Maschine ohne Berücksichtigung des Ankerquersfeldes gezeigt. In den Nuten wird die für diese Rotorstellung günstige Stromflußrichtung anhand jeweils zweier Kreissymbole dargestellt, wobei ein Punkt im Kreis den aus dem Blatt kommenden Strom und ein Kreuz im Kreis den in das Blatt hineinfließenden Strom symbolisiert. Damit der magnetische Fluß entlang der Nuten homogenisiert wird, sind in der tangentialen Mitte der Zähne des weichmagnetischen Körpers tiefe Schlitzte 17 eingearbeitet, die mit diamagnetischem Material gefüllt werden.

Die Nuten der Elektropoleinheit 16a liegen der Rotorpolfläche gegenüber. Die zugehörige Phase befindet sich im Kommutierungsvorgang und ist daher stromlos dargestellt. Dagegen kann die Elektropoleinheit 16b ihr volles Drehmoment entfalten. Auch die ebenfalls um eine halbe Polteilung zueinander versetzten Elektropoleinheiten 16c und 16d können zum gewünschten Drehmoment einen positiven Beitrag leisten, wobei sich die Phase der Elektropoleinheit 16c kurz nach und die der Elektropoleinheit 16d kurz vor einem Stromrichtungswechsel befindet. Die nach rechts drehende Rotor Scheibe besteht aus axial magnetisierten Hochleistungsmagneten 18, die von einem faserverstärkten Rahmen 19, der aus einem weder magnetisch noch elektrisch leitfähigem, mechanisch hochfesten Werkstoff besteht, in ihrer Position gehalten werden.

Fig. 3c ist der Verlauf des Ankerfelds in einer vierphasigen Reluktanzmaschine dargestellt. Der Strom wird in den Elektropoleinheiten 20a—d jeweils dann eingeschaltet, wenn sich durch eine Bewegung der weichmagnetischen Segmente 21 nach rechts der magnetische Widerstand für das Ankerfeld vermindert. Dies ist maximal für zwei Elektropoleinheiten gleichzeitig der Fall. Für die in der Fig. 3c gezeigte Rotorstellung hat das in der Elektropoleinheit 20b erzeugte Feld seinen minimalen magnetischen Widerstand erreicht und der bis dahin in den Leitern 22 fließende Strom wird nun ausgeschaltet. Eine den Rotor nach rechts bewegend Kraft wird nun vom Ankerfeld in der Elektropoleinheit 20d erzeugt. Derartige Reluktanzmaschinen können auch als Schrittmotoren eingesetzt werden.

Fig. 4 zeigt einen vier Polteilungen umfassenden Ausschnitt aus den vier übereinanderliegenden Leiterschichten 13a und 13b bzw. 13a' und 13b', wobei die

Leiterschichten zur Veranschaulichung ihrer Bauform in Richtung der Nuttiefe einen Abstand zueinander aufweisen. Die beiden unterschiedlich verlaufenden Leiterschichten sind wieder unterschiedlich dicht schraffiert.

Die tangential verlaufenden Verbindungsstege 23 nutzen im Wickelkopf die Lücken der in Richtung der Nuttiefe benachbarten Leiterschicht zur Verdoppelung ihrer Leiterhöhe aus. In einer nicht dargestellten Ausführungsform kann die Leiterhöhe auch beidseitig um jeweils die halbe Schichtdicke vergrößert werden. Nach der Leitermontage liegen die Leiterschichten in Richtung der Nuttiefe flächig aneinander und bilden somit zusammen eine stabile scheibenförmige Baugruppe, die vorgefertigt und funktionsbereit in den genuteten weichmagnetischen Körper eingesetzt wird.

Fig. 5 zeigt drei Arbeitsschritte zur Herstellung der Rotorscheiben 6 aus Fig. 2. Die baugleichen Rotorscheiben bestehen pro Polteilung aus jeweils einem hart- oder weichmagnetischen Segment 24, das — wie Fig. 5a zeigt — tangential in einen Rahmen 25 aus nicht magnetisierbarem Material eingesetzt wird. Die Stoßflächen sind dabei leicht keilförmig angeschrägt, so daß eine gute Fixierung gewährleistet ist (Fig. 5a). Die Rotorscheibe 6 kann somit Polteilung für Polteilung (Fig. 5b) oder in Gruppen bis hin zu zwei Hälften (Fig. 5c) radial von außen in den betriebsbereiten Mehrscheibenstator eines Außenläufers eingesetzt werden. Radial vorstehende Zähne 25 gewährleisten eine axial und tangential sichere Verbindung zu den passiven Rotorteilen. Die Kräfte werden von einem äußeren Rotorring oder direkt vom Maschinengehäuse (beide nicht dargestellt) aufgenommen. Das rohrförmige Trommelgehäuse (9) in Fig. 1 weist hierfür an der inneren Mantelfläche pro Polteilung eine axial verlaufende Nut (5) auf. Durch das radiale Zusammensetzen des Rotors aus baugleichen Sektoren kann der Rotor nach dem Abziehen des Gehäuses oder des Rotorauslenkers jederzeit ausgebaut werden, ohne daß die beiden äußeren Statoreinheiten mit ihren elektrischen Leitungen ausgebaut werden müssen.

Die Spannungs- und Stromverläufe in Fig. 6 zeigen, daß eine erfindungsgemäße sechsphasige Reluktanzmaschine bei entsprechender Ansteuerung auch als kontinuierlicher Antrieb eine geringe Drehmomentwelligkeit aufweist. Die Stromflußzeit pro Periode wird je nach Drehzahl und Stromanstiegszeit vom Mikroprozessor berechnet und beträgt zwischen 1/3 und 7/16 der Periodendauer T. Bei hohen Drehzahlen geht die Ansteuerung — wie in Fig. 6a gezeigt — zur Grundfrequenztaktung über, d. h. pro Periode erfolgt pro Phase nur ein Spannungsimpuls 27, der Stromverlauf 28 weist aufgrund der Induktivitäten eine trapezförmige leicht verzögerte Impulsform auf. Aus den Stromanstiegs- und Abklingzeiten, die von einem programmierbaren Zählerbaustein binär ausgewertet werden, wird in der sich drehenden Maschine die aktuelle Rotorlage berechnet. Der Mikroprozessor vergleicht die Ergebnisse von mehreren Phasen jeweils innerhalb einer Periode mit den Werten die sich aus einer Simulationsrechnung ergeben und zieht je nach Vorgabe aus dem übergeordneten Betriebsüberwachungsprozessor den Startimpuls für den nächsten Kommutierungsvorgang entweder vor oder verzögert ihn.

Auch im Stillstand kann die sensorlose Ansteuerung die Rotorlage mittels hochfrequenter Testsignale ermitteln, wobei aus den Verzögerungszeiten der Ströme die Phaseninduktivitäten und damit die Lage der jeweiligen Elektropole relativ zu den Rotorsegmenten im Mikro-

prozessor berechnet wird. Aus dem Vergleich der Ergebnisse für alle Phasen wird dann die aktuelle Rotorstellung bzw. jene Phase bestimmt, in der ein Strom momentan ein positives Drehmoment erzeugen kann. Mit Testsignalen aus unbestromten Phasen wird auch der Zeitpunkt ermittelt, an dem der Läufer sich so weit bewegt hat, daß ein Kommutierungsvorgang zur folgenden Phase sinnvoll wird. Erst bei höheren Drehzahlen kann auf Testsignale und deren Auswertung verzichtet und die Rotorlage allein aus den Stromanstiegs- und -abfallzeiten sowie der Auswertung der Vorgeschichte bestimmt werden.

Fig. 6b zeigt wie sich die Drehmomentverläufe der aufeinanderfolgenden Phasen überlappen und so ein Gesamtdrehmoment 29 mit geringen Drehmomentsschwankungen erzeugen. Bei niedrigen Drehzahlen geht die Ansteuerung in einen Betrieb mit Pulsbreitenmodulation über, wobei in Fig. 6c bei der halben Drehzahl von Fig. 6a bereits fünf Impulse pro Periode geschaltet werden. Bei einer weiteren Halbierung der Drehzahl steigt die Pulszahl pro Periode auf elf (Fig. 6d). Je höher die Pulszahl umso exakter kann der Mikroprozessor die Stromverläufe und damit die Drehmomentbildung beeinflussen. Hierzu ist ein frei programmierbarer Algorithmus zur Impulsmusterberechnung vorgesehen. Die Regelung berechnet die Einschaltimpulse hierbei so, daß die Bestromung eines Leiterstrangs sich symmetrisch um den für die Drehmomentbildung günstigsten Zeitpunkt verteilt. Hierdurch wird auch im Teillastbereich stets die optimale Umsetzung der elektrischen in mechanische Energie gewährleistet.

In Fig. 7 werden fünf Anordnungen von Elektropoleinheiten in vierphasigen Linearmotoren dargestellt, wobei in allen Fällen die Elektropoleinheiten gegenüber weichmagnetischen Segmenten beweglich und gegenüber hartmagnetischen Segmenten ortsfest sein können.

Fig. 7a zeigt eine einfache Bauform eines vierphasigen Linearmotors, in dem die vier Elektropoleinheiten 30a—d in Laufrichtung hintereinander angeordnet sind. Der Abstand 31 zwischen den baugleichen Elektropoleinheiten beträgt eine viertel Polteilung. Der Abstand ist anhand der Rückschlüsse 32 zu erkennen und wird durch die äußere Rückführung der Leiter zur Bildung von halben Polen an den Enden jeder Elektropoleinheit genutzt. Die aus weichmagnetischem Material bestehende genutete Statorschiene 33 ist auf der gesamten Länge in den Fahrweg integriert. Der normalerweise mit den Elektropoleinheiten fest verbundene Läufer 34 ist zur Verdeutlichung der dreidimensionalen Anordnung nur nach oben verschoben angedeutet.

Fig. 7b zeigt eine Ausführungsform mit teuren hartmagnetischen Segmenten 35. Diese sind vorzugsweise im Läufer angeordnet und der Fahrweg besteht dann aus einer Vielzahl von baugleichen Elektropoleinheiten 37, die wieder jeweils eine viertel Polteilung Abstand zueinander aufweisen. Die Elektropoleinheiten bestehen nur aus jeweils drei Polteilungen und der Läufer 36 weist um die vier Phasen zu überdecken vierzehn Magnetsegmente 35 auf.

Für in Bewegungsrichtung kürzere Läufer werden die Elektropoleinheiten 38 — wie in Fig. 7c gezeigt — quer zur Laufrichtung nebeneinander angeordnet. Auch hier können weichmagnetische Segmente im Fahrweg oder hartmagnetische Segmente im Läufer untergebracht werden.

Soll der Läufer sowohl längs als auch quer kleine Außenabmessungen aufweisen, empfiehlt sich die in

Fig. 7d dargestellte Anordnung, wobei die Elektropoleinheiten 39 in Richtung der Nuttiefe hintereinander angeordnet sind. Die aktiven Teile des Läufers oder Ständers 40 ragen kufenförmig zwischen jeweils zwei zueinander versetzte Elektropoleinheiten. Der Querschnitt dieser Linearmotorbauform ähnelt dem Längsschnitt des Scheibenläufers in Fig. 1.

Fig. 7e zeigt abschließend noch eine Anordnung mit einem im Verhältnis zu den Elektropoleinheiten 41 sehr großen Läufer 42. Die aktiven Teile sind seitlich an horizontal in den Läufer hineinragenden Segmentschienen 43 angeordnet. Um Drehkräfte zu kompensieren sind jeweils zwei phasengleiche Elektropoleinheiten in diagonal gegenüberliegenden Ecken des Läufers angeordnet. Dieser Effekt mit acht Elektropoleinheiten für den vierphasigen Linearmotor kann auch in den drei vorangegangenen Anordnungen genutzt werden.

Patentansprüche

1. Mehrphasige elektrische Maschine mit genuteten weichmagnetischen Körpern, denen weich- oder hartmagnetische Segmente in einer ebenen Fläche, der Nutöffnungsebene, gegenüberliegen, wobei in den Nuten Leiterstränge in Richtung der Nuttiefe flächig übereinandergeschichtet angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Maschine mindestens zwei genutete weichmagnetische Körper (14) aufweist, die jeweils zusammen mit den in ihren Nuten liegenden Leitersträngen (13, 22) Elektropoleinheiten (3, 16, 20) bilden, wobei die Phasenanzahl der einzelnen Elektropoleinheiten kleiner als die Phasenanzahl der gesamten Maschine ist.
2. Mehrphasige elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektropoleinheiten (3, 16, 20) baugleich sind.
3. Mehrphasige elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektropoleinheiten (3, 16, 20) in Richtung der Nutbreite zueinander versetzt angeordnet sind.
4. Mehrphasige elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektropoleinheiten (3, 16, 20) eine in Richtung der Nutbreite um einen der Phasenanzahl entsprechenden Bruchteil einer Polteilung unterschiedlich versetzte Stellung bezüglich der Segmente (24) aufweisen.
5. Mehrphasige elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Anzahl der Elektropoleinheiten (3, 16, 20) der Phasenanzahl der Maschine entspricht, wobei alle Elektropoleinheiten einphasig ausgeführt sind.
6. Mehrphasige elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Verlauf von Leitersträngen (13, 22), die im weichmagnetischen Körper (14) aufeinanderliegen, in Richtung der Nutbreite um eine Polteilung versetzt zueinander ist.
7. Mehrphasige elektrische Maschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiterquerschnitt eines Leiterstranges (13) in Teilbereichen (23), die in den Wickelköpfen (15) in Richtung der Nutbreite verlaufen, gegenüber den im weichmagnetischen Körper (14) liegenden Teilbereichen in Richtung der Nuttiefe vergrößert ist.
8. Mehrphasige elektrische Maschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterstränge (13a, 13b) rechteckförmige Querschnitte aufweisen und in zur Nutöffnungsebene parallelen

- Schichten nur durch dünne Isolierschichten getrennt aufeinanderliegen, wobei die Leiterstränge direkt am weichmagnetischen Körper (14) anliegen und in den Teilbereichen (23), die im Wickelkopf (15) in Richtung der Nutbreite verlaufen, die doppelte Leiterhöhe wie in den übrigen Teilbereichen aufweisen.
9. Mehrphasige elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß alle Leiterstränge (13, 22), die innerhalb einer Nut aufeinanderliegen, in Reihe geschaltet sind.
10. Mehrphasige elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterstränge (13, 22) nur einen ganzzahligen Bruchteil des Maschinenumfanges bzw. der Maschinenlänge durchlaufen, wobei die Wicklung der gesamten Maschine aus baugleichen Sektoren zusammen gesetzt ist.
11. Mehrphasige elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß alle aufeinanderliegenden Leiterschichten (13a, 13b) bis auf die Anschlußstellen zu den Stromzu- und -ableitungen (8) baugleich sind.
12. Mehrphasige elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf gegenüberliegenden Seiten eines Läufers (6) oder Ständers (43) zwei baugleiche Elektropoleinheiten (3, 41) angeordnet sind, die in Richtung der Nutbreite um eine halbe Polteilung zueinander versetzt sind.
13. Mehrphasige elektrische Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der magnetische Fluß von hartmagnetischen Segmenten (18) die beiden Elektropoleinheiten gleichzeitig durchflutet.
14. Mehrphasige elektrische Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein weichmagnetisches Segment (21) für die Ankerfelder der beiden Elektropoleinheiten (20a bis d) abwechselnd den magnetischen Rückschluß bildet.
15. Mehrphasige elektrische Maschine nach den Ansprüchen 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß weitere identisch aufgebaute Baugruppen, zur Bewegung des gleichen Bauteils vorgesehen sind, wobei die Läufer (9, 40) jeweils fest mit dem bewegten Bauteil verbunden sind und die Elektropoleinheiten (3, 39) jeweils um den der Phasenzahl entsprechenden Bruchteil einer Polteilung bezüglich der Läuferpole versetzt angeordnet sind.
16. Mehrphasige elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Läufer (9, 40) in Richtung der Nuttiefe hintereinander angeordnet sind, wobei zwischen den inneren Elektropoleinheiten (3b, 3c) ein Kühlmittel (2) zirkuliert.
17. Mehrphasige elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß baugleiche Elektropoleinheiten (30) unterschiedlicher Phasen in einem Linearmotor in Laufrichtung hintereinander angeordnet sind.
18. Mehrphasige elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß baugleiche Elektropoleinheiten (38) unterschiedlicher Phasen in einem Linearmotor quer zur Laufrichtung nebeneinander und in Nutrichtung hintereinander angeordnet sind.
19. Mehrphasige elektrische Maschine nach einem

- der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß baugleiche Elektropoleinheiten (39) unterschiedlicher Phasen in einem Linearmotor quer zur Laufrichtung nebeneinander und in Richtung der Nuttiefe hintereinander angeordnet sind.
20. Mehrphasige elektrische Maschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Läufer eines Linearmotors hartmagnetische Segmente (35) aufweist und Elektropoleinheiten (37) im gesamten Fahrweg angeordnet sind, wobei einzelne Elektropoleinheiten nur dann bestromt werden, wenn sie zumindest teilweise vom Permanentfeld durchflutet sind.
21. Verfahren zur Herstellung einer mehrphasigen elektrischen Maschine mit genuteten weichmagnetischen Körpern, denen weich- oder hartmagnetische Segmente in einer ebenen Fläche, der Nutöffnungsebene, gegenüberliegen, wobei in den Nuten Leiterstränge in Richtung der Nuttiefe flächig übereinandergeschichtet angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß einstückig hergestellte Leiterschichten in Richtung der Nuttiefe ineinandergeschoben werden, wobei die Enden der baugleichen Leiterschichten untereinander und mit den Anschlußleitern außerhalb des weichmagnetischen Körpers verschweißt werden, wobei die zu verschweißenden Leiterschichten geringfügig in Richtung der Nuttiefe von den übrigen Leiterschichten elastisch weggebogen und die verschweißten Leitenden anschließend mit einem elektrisch isolierenden Material überzogen werden.
22. Verfahren zur Herstellung einer mehrphasigen elektrischen Maschine nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß eine Leiterschicht direkt aus der Schmelze innerhalb einer Vorrichtung in die gewünschte Form gebracht wird.
23. Verfahren zur Herstellung einer mehrphasigen elektrischen Maschine nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die weich- oder hartmagnetischen Segmente in unmagnetische Rahmentteile eingeschoben werden, wobei die Kontaktflächen keilförmig ausgestaltet sind.
24. Verfahren zur Herstellung einer mehrphasigen elektrischen Maschine nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotorscheiben Polteilung für Polteilung zusammengesetzt werden.
25. Verfahren zur Herstellung einer mehrphasigen elektrischen Maschine nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotorscheiben in Sektoren in den betriebsbereiten Ständer einer Mehrscheiben-Außenläufermaschine radial von außen eingesetzt werden.
26. Verfahren zur Ansteuerung einer mehrphasigen elektrischen Maschine mit genuteten weichmagnetischen Körpern, denen weich- oder hartmagnetische Segmente in einer ebenen Fläche, der Nutöffnungsebene, gegenüberliegen, wobei in den Nuten Leiterstränge in Richtung der Nuttiefe flächig übereinandergeschichtet angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage des bewegten Läufers über die aktuellen Induktivitätswerte für die Leiterstränge der jeweiligen Elektropoleinheiten aus den binär gemessenen Stromanstiegs- und abfallzeiten von einem Mikroprozessor berechnet werden.
27. Verfahren zur Ansteuerung einer mehrphasigen elektrischen Maschine nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotorlage im Stillstand der

Maschine aus dem Übertragungsverhalten von
Testsignalen in den einzelnen Elektropoleinheiten
von einem Mikroprozessor berechnet wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen 5

10

15

20

25

30

35

40

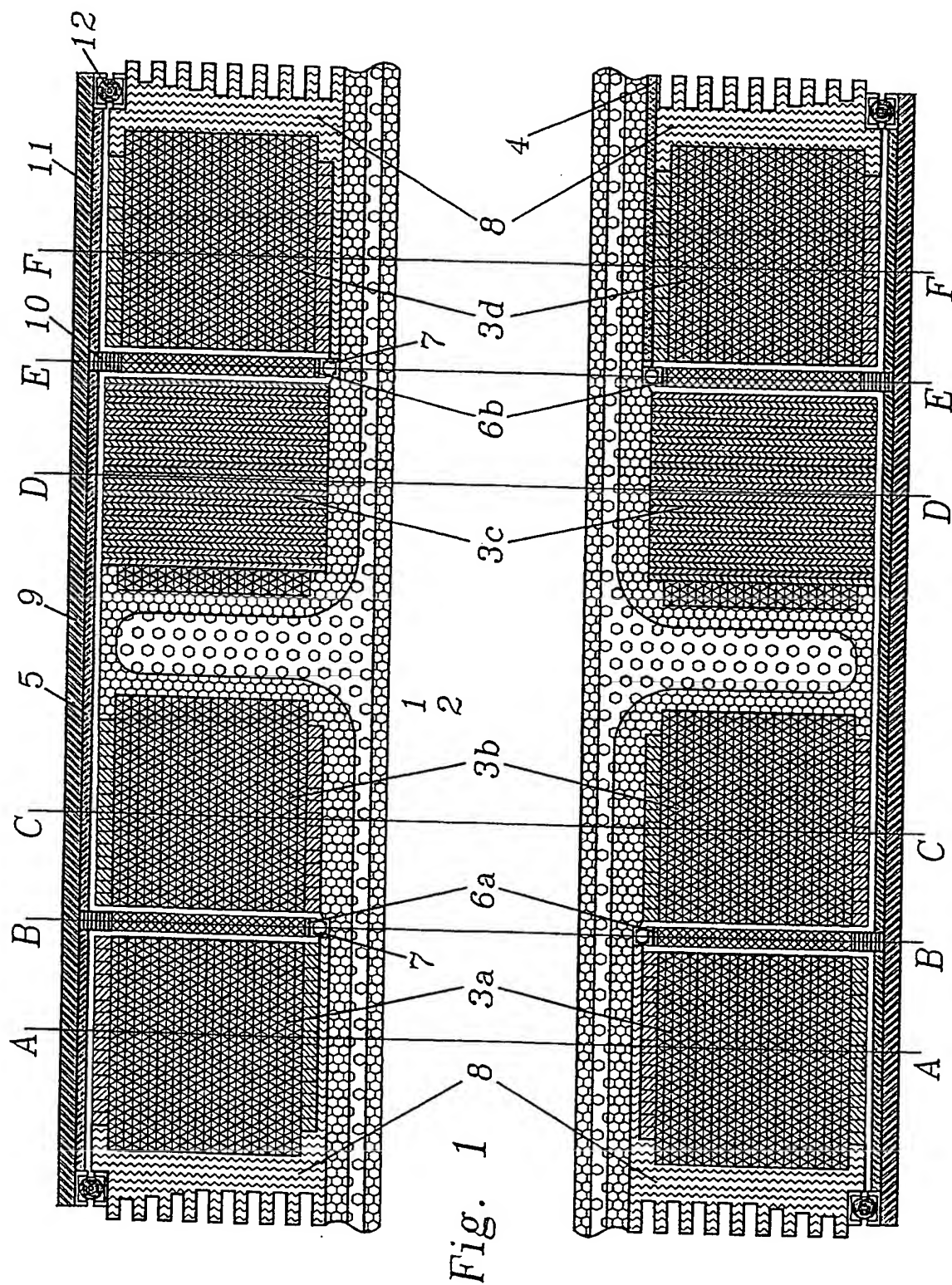
45

50

55

60

65



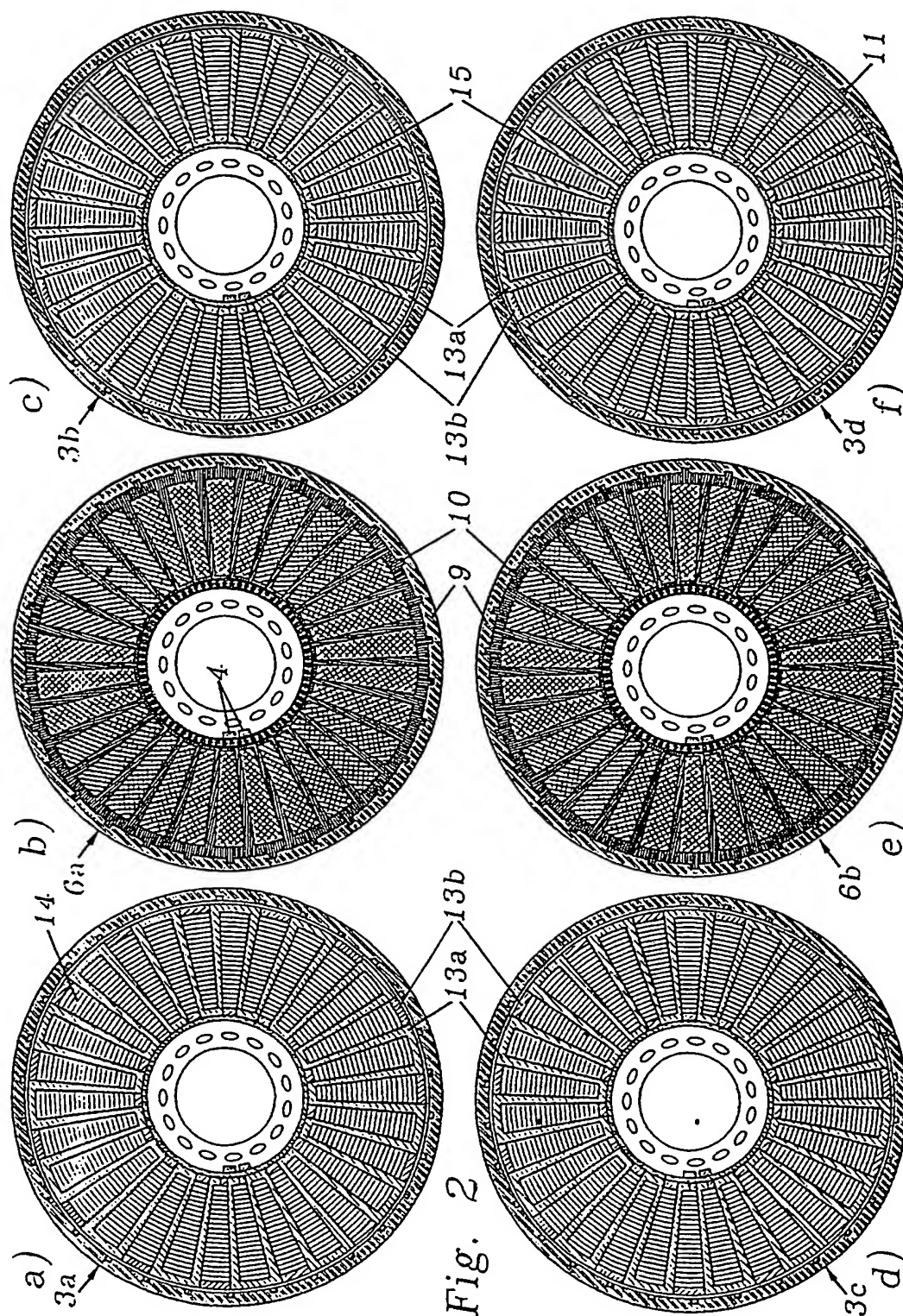
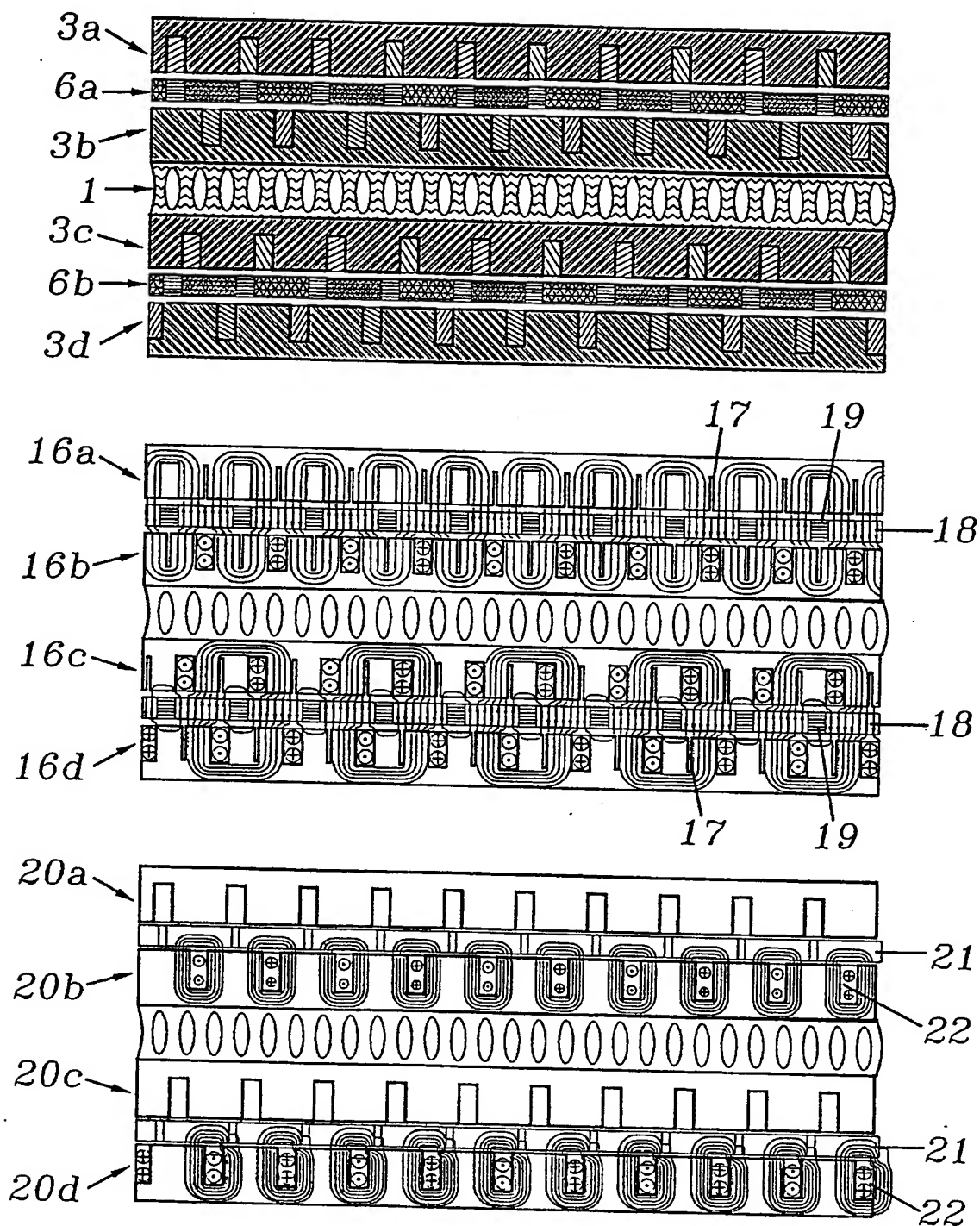


Fig. 3



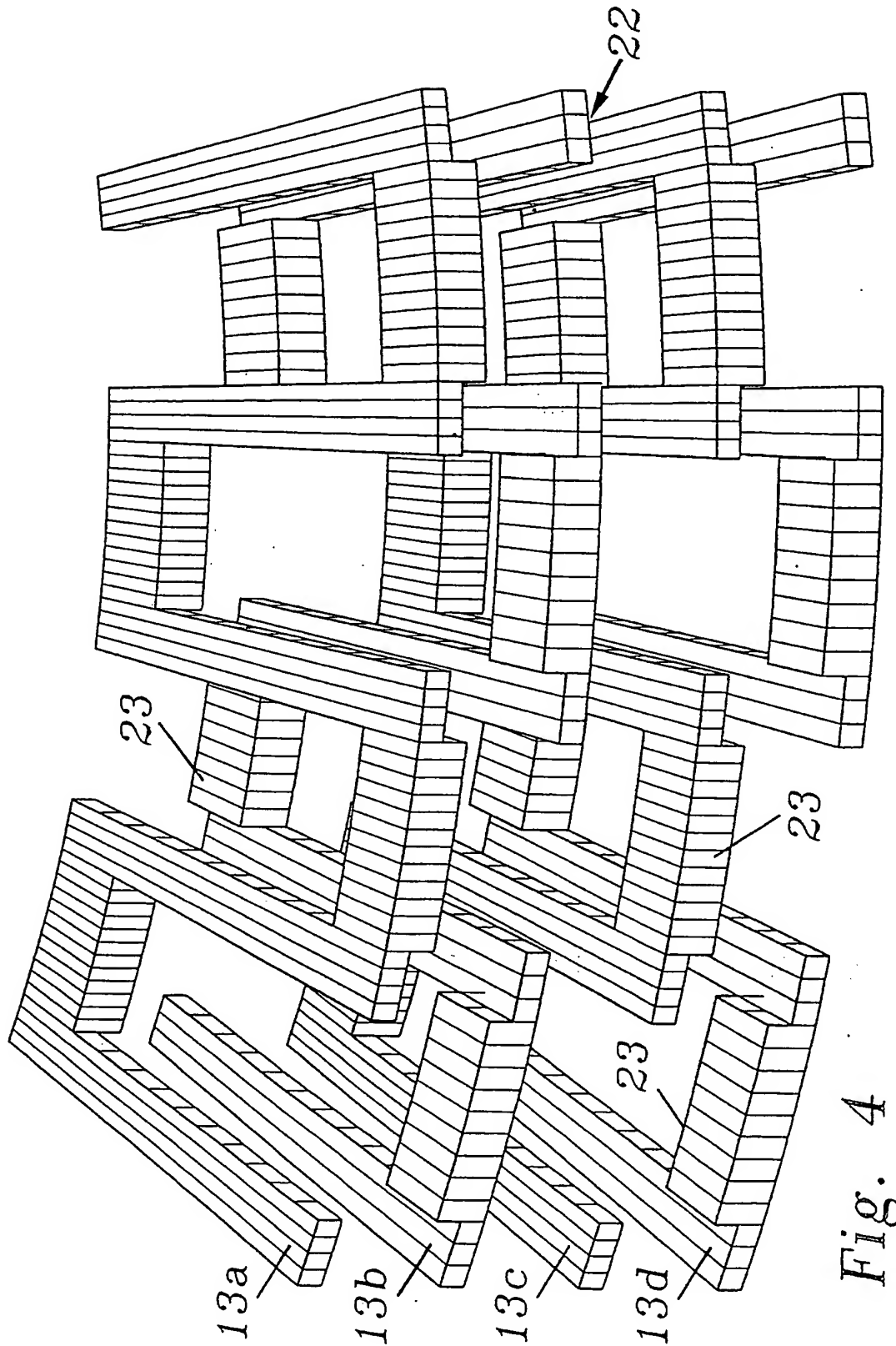


Fig. 4

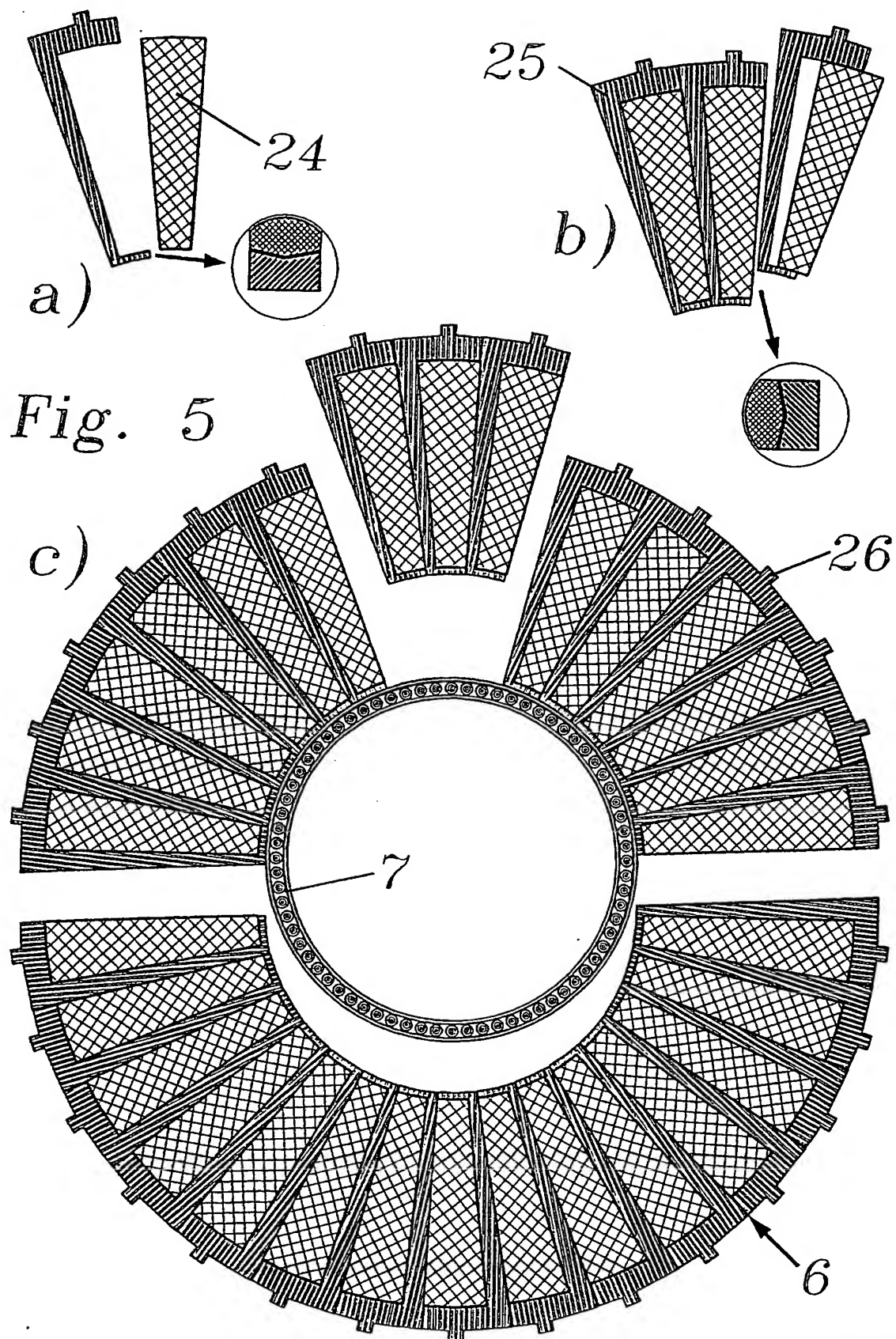
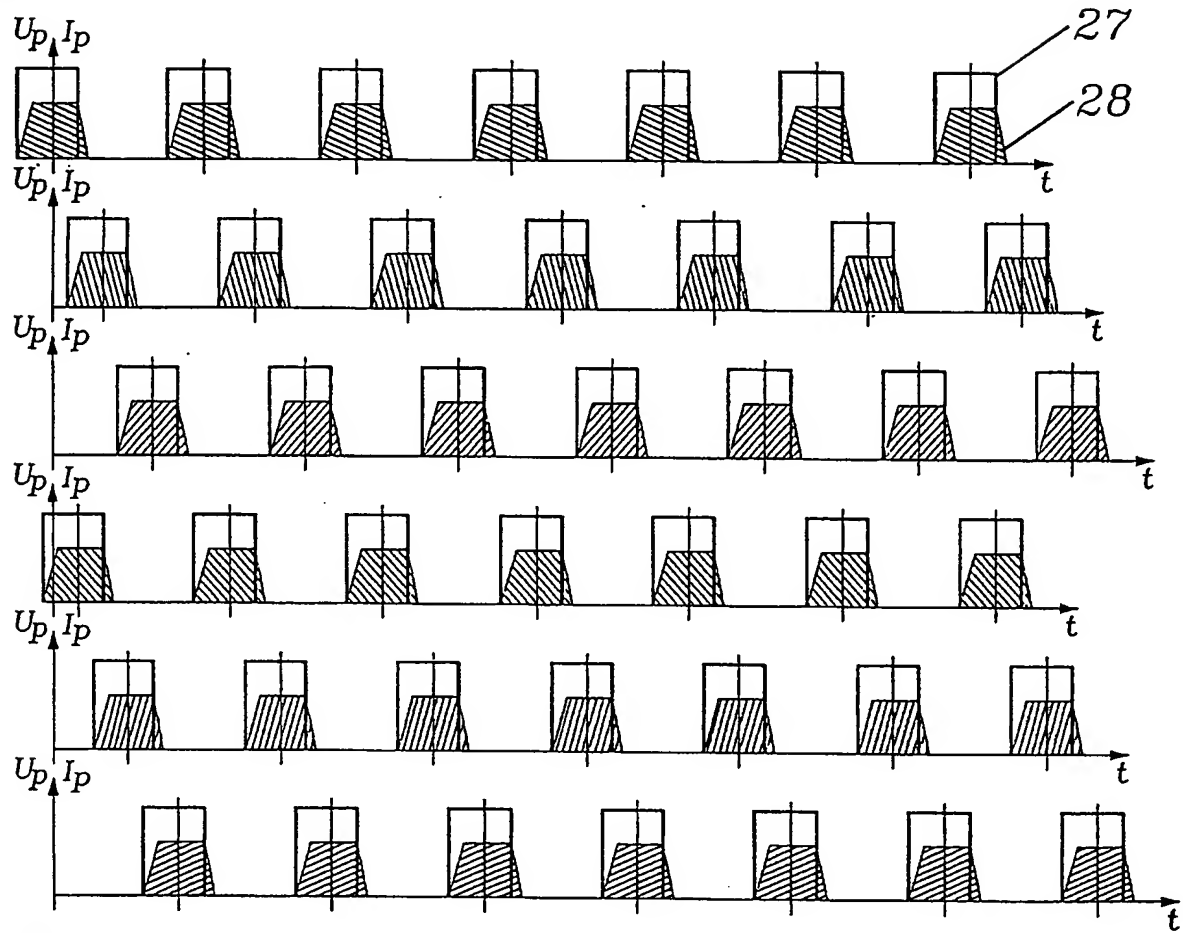
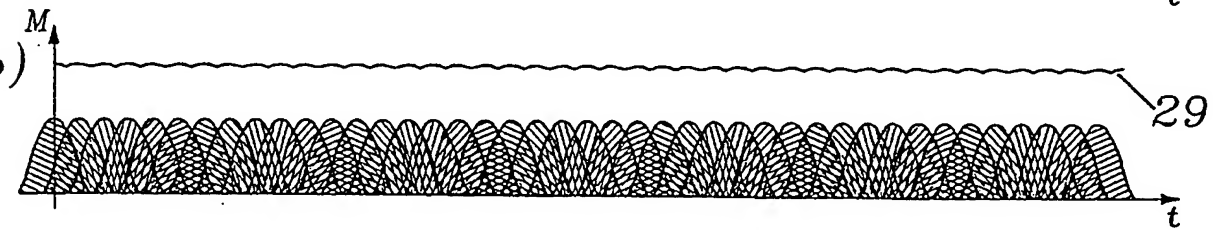


Fig. 6

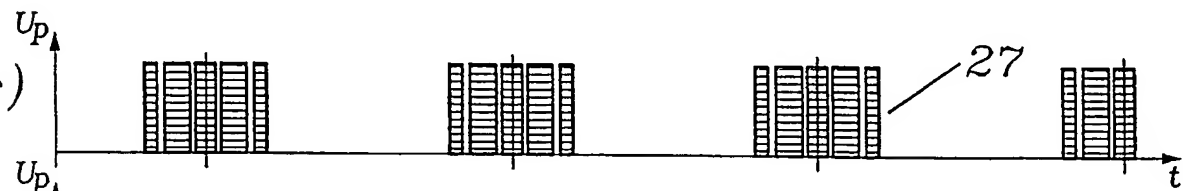
a)



b)



c)



d)

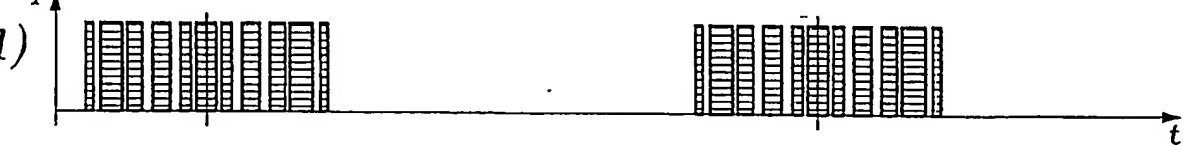


Fig. 7

